

LES PROGRES DE LA GEOGRAPHIE ET DE LA GEOLOGIE SOUS-MARINES

par RAYMOND FURON

*Sous-directeur au Muséum National d'Histoire Naturelle
Paris*

Les Océans occupent 72 % de la superficie du Globe terrestre. La connaissance de leur forme, de leur relief, de la constitution géologique de leur plancher représente donc quelque chose d'essentiel au point de vue de l'étude de la Terre.

Le premier voyage scientifiquement utile est probablement celui de Cook, qui fit le tour du monde, de 1772 à 1775, accompagné du naturaliste Forster. Ce n'est qu'au xx^e siècle que l'on put fixer le contour des continents et des océans. Les méthodes ont fait de grands progrès depuis 50 ans.

La géographie sous-marine

Le fond des mers, échappant à l'observation directe, nous est resté inconnu jusqu'à ces dernières années. Au delà de ce que l'on peut atteindre avec une perche, il faut une technique particulière. Pendant des siècles (même des millénaires peut-on dire), la technique n'a pas variée, c'est le *sondage au plomb*.

Un filin pourvu d'un poids pyramidal en plomb est mis à la mer. Dès que le poids touche le fond, on connaît la profondeur. Dans la pratique, une longue ligne s'embrouille pendant la descente ou elle flotte entre deux eaux, mais elle n'atteint pas le fond.

C'est d'ailleurs ce qui explique l'ignorance totale des Anciens (et des navigateurs du Moyen Age) sur les profondeurs marines. On admettait avec Aristote que les océans étaient des abîmes sans fond, puisque ce fond ne pouvait jamais être atteint, même avec de longues lignes lestées d'un plomb. La longueur même de ces lignes n'excédait pas quelques centaines de mètres.

Le premier essai de sondage à grande profondeur semble avoir été fait par Magellan en 1521, entre Saint-Paul et les Tiburones, qu'il nomme les Iles Infortunées. Ce fut un essai sans résultat, car le fond ne fut pas atteint.

Il faut attendre le XIX^e siècle pour trouver des procédés nouveaux.

En 1841, Aimé, professeur au lycée d'Alger, perfectionne les méthodes d'un océanographe italien du XVIII^e siècle, Marsilli, et réussit à toucher un fond de 1.606 mètres au large d'Alger. Aimé utilisait une ligne de soie de 5 mm. de section, lestée d'un poids de 20 kg. pourvu d'une cavité suiffée qui ramenait des échantillons du fond.

En 1854, le midshipman Brooke invente le sondeur à poids perdu, qui permet de déterminer le moment exact où la ligne a touché le fond.

A partir de ce moment, de nombreuses missions océanographiques partent à la découverte des fonds sous-marins. Le *Tuscarora* et le *Blake* signalent des fosses de 8.000 mètres. La France équipe le *Travailleur* et le *Talisman*; l'Angleterre le *Porcupine* et le *Challenger*; l'Allemagne le *Valdivia* et le *Gauss*; l'Autriche le *Pola*; le Prince de Monaco les deux *Hirondelle* et la *Princesse Alice*; pour ne citer que les plus célèbres.

Les sondages par échos. — C'est un hydrographe français, P. Marti, qui réalisa en 1919, un procédé de sondage continu, basé sur le phénomène de l'écho. L'installation comporte essentiellement un émetteur de son et un récepteur. L'appareillage, perfectionné depuis cette époque, utilise des oscillographes magnétiques pour l'inscription des échos.

Ce progrès considérable présentait cependant un inconvénient. Les émissions n'étant pas dirigées, le premier écho enregistré est celui qui revient de la surface la plus proche du poste émetteur, ce qui ne correspond pas forcément à la plus grande profondeur.

Les sondages par ultra-sons. — Dès 1912, Lewis Richardson avait suggéré l'émission d'ultra-sons au moyen d'une sorte de projecteur. La fréquence serait de l'ordre de 20.000 périodes par seconde. Pratiquement, il fallait transformer des oscillations électriques en oscillations élastiques génératrices d'ondes sonores. P. Langevin trouva la solution en utilisant une propriété du quartz, la piézo-électricité, découverte par Pierre et Jacques Curie. Ces projecteurs à ultra-sons, enregistrant automatiquement les résultats permettent d'avoir des profils continus sur le trajet d'un bateau. De nouveaux perfectionnements, acquis pendant la dernière guerre, ont permis le repérage des sous-

marins et même des bancs de poissons. Tels sont les procédés qui permettent d'avoir des renseignements sur les formes sous-marines, sur le relief du fond des océans. Nous y ajouterons l'utilisation des ondes acoustiques, produites par des explosions. Les bruits se transmettent fort loin dans les eaux océaniques. L'explosion d'une petite bombe lancée en mer au large de Dakar, a été entendue au microphone sous-marin disposé aux Iles Bahamas, à 5.000 kilomètres. En utilisant 3 stations réceptrices, un son peut être localisé à grande distance, avec une erreur inférieure à 1.500 mètres. La présence d'un relief sous-marin (ou d'une île) détermine une zone de silence ou d'atténuation. Des bruits d'origine inconnue ont été enregistrés; ils sont attribués à des volcans sous-marins. Certains cependant sont dus à des bancs de crustacés, spécialement *Crangon californiensis* et *Synalpheus lockingtoni* (1).

Construction des cartes bathymétriques. — Les premières cartes « représentant » le relief sous-marin ne pouvaient être établies que d'après un petit nombre de sondages. Elles étaient absolument fausses, ainsi que le montra J. Thoulet en essayant de reconstituer le relief de la France, de l'imaginer plutôt, en supposant la seule connaissance d'une cote par 10.000 milles carrés, puis par 5.000, 1.000 et 500. Il faut arriver à la quatrième phase (308 points cotés pour 164.000 milles carrés) pour obtenir une figure raisonnable. C'est dire les grands progrès accomplis depuis que les navires disposent de sondeurs acoustiques permettant l'enregistrement graphique du profil sous-marin. Les campagnes du *Meteor* et du *Discovery II* ont ainsi modifié profondément l'idée que l'on se faisait du relief de l'Atlantique Sud.

Les cartes bathymétriques sont dessinées en courbes de niveau, comme les cartes terrestres. Ces courbes d'égale profondeur sont les *isobathes*. Actuellement, la meilleure carte générale est le planisphère en 16 feuilles au 1/10.000.000^{me}, publiée en 1938 par les soins du Prince de Monaco. Elle montre que 70 % des fonds océaniques se trouvent à plus de 3.000 mètres de profondeur.

Les campagnes récentes montrent un relief de plus en plus compliqué : un plateau continental s'étalant plus ou moins largement en marge des terres émergées, des bassins, des cuvettes, des fosses, des plateaux, des seuils et des crêtes.

(1) Voyez JOHNSON M., EVEREST E.-A., YOUNG R.-W. The role of Snapping Shrimp in the production of underwater noise. *Biol. Bull.*, vol. 93, 1947, pp. 122-138.

La géologie sous-marine.

Lorsque les formes du relief sous-marin sont connues, il faut encore les interpréter, puis le géologue désire en connaître la nature lithogique et si possible la stratigraphie. Les désirs n'ont pas de limites, mais les possibilités sont assez réduites.

Lorsqu'il s'agit de recueillir des roches à quelques mètres de profondeur, un scaphandre ou l'appareil de Cousteau permettent d'aller les chercher directement.

En ce qui concerne les zones profondes, on doit employer des méthodes particulières. La première, directe, consiste à récolter des échantillons de surface par dragage, ou en profondeur par sondages et carottage; c'est la méthode employée à terre. La seconde, indirecte, utilise les possibilités de la Géophysique.

(1) *Les enseignements de la Géophysique.* — C'est la Séismologie qui a prouvé que le Globe terrestre est formé de couches successives, d'épaisseur déterminée, de densités et de propriétés élastiques différentes.

La croûte terrestre se compose elle-même de deux couches : l'une externe, de profil irrégulier, de faible densité (2,5 à 2,7) constituée par les roches que nous voyons facilement (granites, roches métamorphiques et sédimentaires); l'autre, interne, plus dense, constituée par des roches basiques (du basalte aux dunites). La première porte le nom de *Sial* (de *Silice* et *Alumine*), la seconde de *Sima* (de *Silice* et *Magnésie*). C'est de ce principe qu'est parti le géophysicien allemand Wegener, supposant que les socles continentaux, formés de *Sial*, flottaient et dérivait sur un *Sima* visqueux, qui devait constituer le fond des océans. La théorie de la Dérive des continents a eu ses fervents et elle a provoqué des discussions fécondes.

La Séismologie a apporté deux renseignements précis : il n'y a pas de croûte de faible densité sous l'Océan arctique, ni dans le bassin océanique proprement dit du Pacifique. Par contre, il est certain, d'après Rothé, que le fond de l'Atlantique oriental est constitué par du *Sial* et non par du *Sima*. Les données de la Géophysique rendent donc illusoire toute idée de disjonction d'un continent unique et tout essai de raccordement direct des côtes du Brésil et de celles du Golfe de Guinée, dont les contours ont une certaine similitude.

Les études gravimétriques ont montré de curieuses répartitions des anomalies de la pesanteur. Elles nous aident à comprendre l'évolution des zones géosynclinales, depuis les étonnantes observations de Vening-Meinesz, faites en sous-marin aux Indes néerlandaises.

Les anomalies de pesanteur dessinent ici des bandes parallèles de 4.000 kilomètres de longueur. On en reconnaît six en partant de l'Océan Indien :

(1) le fond de l'océan se relève jusqu'à une crête sous-marine, marquée par l'émersion de l'île de Christmas et une bande d'anomalies négatives;

(2) abaissement du fond dans l'avant-fosse de Java-Sumatra, avec anomalies positives;

(3) relèvement du fond, guirlande des îles Mentawai, fortes anomalies négatives et foyers séismiques normaux;

(4) fosse marine située au Sud de Java-Sumatra, anomalies positives et foyers séismiques plus profonds;

(5) côte de Java-Sumatra, anomalies positives persistant en bordure de la fosse, alignement de 104 volcans actifs;

(6) au Nord des îles : mer de Java et mer de Banda, nouvelle zone d'anomalies positives, foyers séismiques à très grande profondeur (500 et 600 km.). Il s'agit d'une zone d'affaissement récent, de subsidence actuelle.

Ceci nous montre une zone plissée en pleine évolution, comparable à celle des Antilles aussi bien qu'à celle de chaînes plus anciennes comme celle des Alpes.

La méthode séismique a été utilisée dans l'Atlantique Nord. Tout l'appareillage (bombes, géophones et oscillographes) est jeté à la mer, sans être retenu par aucun câble. Chaque appareil est pourvu d'un flotteur à essence et d'un poids en fonte qui se détache automatiquement après l'opération, permettant aux appareils enregistreurs de remonter à la surface.

L'examen de la propagation des ondes et de leur réflexion sur le fond plus dense, a permis de calculer l'existence de plus de 500 mètres de sédiments légers sur le plateau continental.

Cet ordre de renseignements est du plus haut intérêt, mais ce qu'il nous faut, ce sont des *échantillons* de roches et de fossiles. Nous les obtiendrons par dragages et carottages.

(2) *Les dragages*. — Les dragages géologiques ont pour but, non seulement de ramener à la surface des échantillons de dépôts actuels, mais des échantillons de roches anciennes constituant très exactement le sous-sol des mers. La constitution géologique du fond de la Manche a été reconnue par ce procédé. Dès 1857, Woodward et Andrew ramenèrent des sables à Nummulites des fonds situés au Sud des Îles Scilly. En 1912, P. Lemoine résume l'état de nos connaissances, puis en 1928, L. Dangeard publie les

résultats de plusieurs campagnes de dragages à bord du « *Pourquoi Pas ?* ». Il ne s'agit évidemment que d'une mer très peu profonde qui pourrait être explorée en scaphandre et les documents géologiques sur les grands fonds océaniques restent fort rares.

On peut citer au passage (nous y reviendrons) les fragments de schistes primaires et les fossiles dragués par le « *Talisman* » en 1883, à plus de 4.000 mètres de profondeur, entre les Açores et la côte portugaise.

La Méditerranée, de son côté, a livré un certain nombre de matériaux utilisables.

Les dragages ont été, et restent, un excellent moyen de récolte d'échantillons de roches dures, mais leur efficacité est restreinte sur les grands fonds recouverts d'une trop grande épaisseur de boues actuelles. D'ailleurs, ces boues que nous disons « actuelles » ne le sont vraiment qu'en surface. Leur ancienneté s'accroît en profondeur.

En estimant l'épaisseur des dépôts de grande profondeur à un centimètre par millénaire, 10 mètres de boues marines pourraient représenter un million d'années.

La drague ne peut malheureusement traverser dix mètres de boues marines, non plus qu'elle ne peut nous renseigner sur l'ordre de succession stratigraphique des matériaux qu'elle ramène à la surface.

Il faudrait donc utiliser les mêmes procédés que sur le continent : des forages, avec carottages et remontée des échantillons. C'est ce qui a été réalisé en plusieurs étapes.

(3) *Forages dans les îles coralliennes.* — L'histoire géologique des îles peut être reconstituée par des séries de forages, en particulier l'histoire des îles coralliennes. Les premiers forages de ce genre eurent lieu en 1896, dans l'atoll de Funafuti, aux Iles Ellice, à 2.000 km. au Nord-Est de la Nouvelle-Calédonie. La sonde traversa plus de 340 mètres de calcaire corallien. En 1947, les sondages de Bikini ont atteint 852 mètres, traversant des couches marines de plus en plus anciennes.

Les forages exécutés dans les îles coralliennes ont permis de reconstituer l'histoire du Pacifique occidental depuis 25 millions d'années.

(4) *Les carottages sous-marins.* — La technique ordinaire des sondages terrestres ne peut s'appliquer aux grands fonds. On se trouve en effet devant un problème très particulier : faire pénétrer un tube verticalement dans les sédiments du fond et en remonter le contenu. Il ne peut être question de forer des centaines de mètres, mais au moins quelques mètres.

Les machines à sonder d'Ekman et du *Meteor* obtinrent de véritables carottes de 1 m. 50 de longueur, en laissant s'enfoncer verticalement des tubes lourds, ce qui était encore un procédé empirique.

C'est l'Américain Charles Snowden Piggot qui a inventé en 1930, la première sonde sous-marine de grande profondeur. L'appareil de Piggot, descendu au bout d'un câble, est constitué de la manière suivante : (a) un poids, dit « canon », masse cylindrique en acier, de 50 centimètres de long sur 25 de diamètre, forée au centre, contenant une cartouche, une amorce et une gachette, (b) un tube en acier, relié au canon et contenant une sonde de 5 centimètres de diamètre, avec une couronne spéciale en acier dur et très coupante.

L'arrivée au fond détermine un choc qui provoque l'explosion de la cartouche et l'enfoncement de la sonde dans le fond meuble.

En 1931, Piggot a obtenu des carottes de 1 mètre à 2 m. 50, par des fonds variant de 400 à 2.500 mètres. Ce sont là des résultats excellents, mais la manœuvre était assez longue.

D'autres essais ont été faits. En 1940, Hvorsler et Stetson ont construit un nouvel appareil basé sur les principes suivants : un câble de descente, un appareil à bascule soutenant (1) un petit levier pourvu d'un câble de quelques mètres, terminé par un poids de 50 kgs, (2) une chaîne repliée, un poids et un tube de sondage. L'ensemble pèse 500 kgs.

Pendant la descente, le tout est emporté par le poids-pilote. Lorsque celui-ci touche le fond, la bascule se déclanche, libère le tube qui se trouve enfoncé verticalement dans les sédiments. La vitesse acquise et le poids donnent une grande force de pénétration. 21 sondages ont été exécutés à bord de l'*Atlantis* en 1940-41, entre 200 et 4.000 mètres. Les carottes remontées avaient de 0 m. 70 à 2 m. 80. Le résultat était donc comparable à ceux obtenus par le canon Piggot.

Un modèle encore plus récent, celui de Küllenbergt et Pettersson, a été utilisé par l'Institut Océanographique de Göteborg, à bord de l'*Albatross*, en 1947. Il comporte un tube-carottier de 20 mètres de long sur 52 millimètres de diamètre, pourvu d'un poids. D'autre part, un levier à bascule emporte deux poids moins importants. Lorsque ceux-ci arrivent au fond (avant le tube), celui-ci, guidé, continue et s'enfonce verticalement dans le sédiment.

Utilisé en Méditerranée, aux Antilles et à Panama, ce nouveau sondeur a ramené des carottes de 10 et 13 mètres par 3.500 mètres de fond. Le sondeur de Pettersson tra-

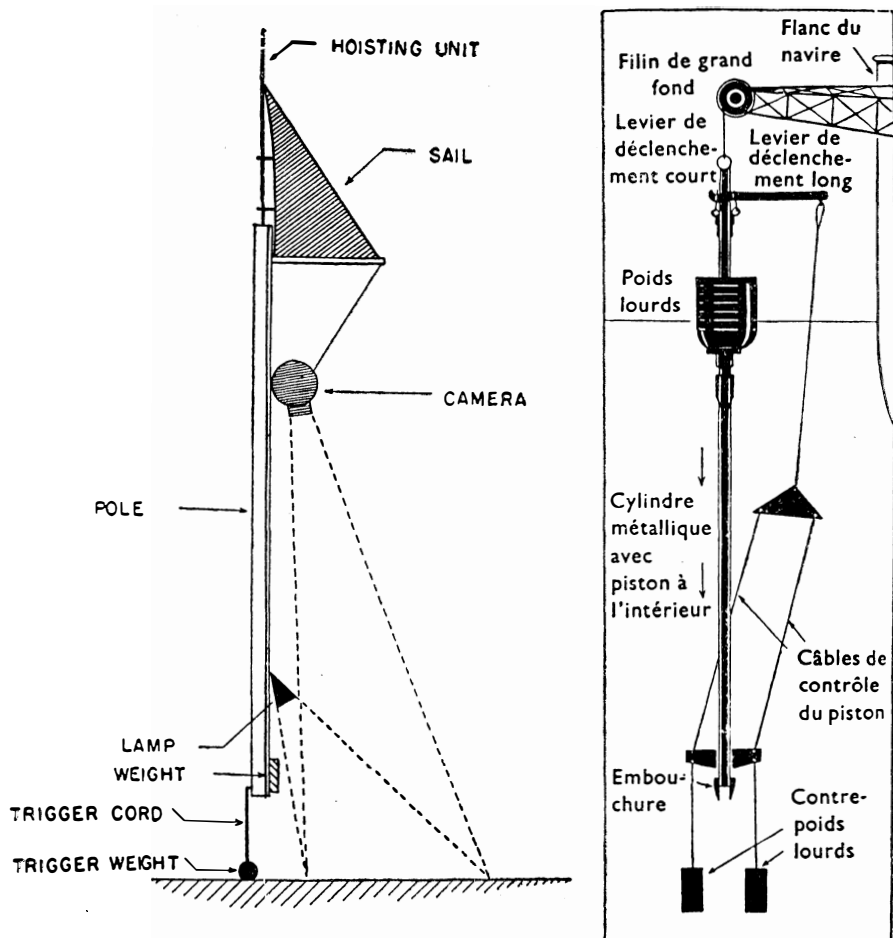


Figure 1. — A droite, schéma de la nouvelle sonde à prélèvement à piston utilisée en 1947 par l'*Albatross*. A gauche, la camera sous-marine ayant permis de prendre des photographies analogues à celle de la figure 8. Figures empruntées à Pettersson, 1949 et à Ewing et collaborateurs, 1946.

verse ainsi des sédiments dont le dépôt a demandé plus d'un million d'années.

Nous allons voir maintenant les principaux résultats acquis grâce à l'utilisation de ces diverses techniques.

Le Plateau continental.

Les continents sont bordés par une plate-forme sous-marine, s'enfonçant en pente douce jusqu'à une certaine distance et une certaine profondeur. On a coutume de limiter ce plateau continental à la courbe bathymétrique de 100 brasses ou 200 mètres, parce que souvent, il se termine (ou se continue) par une pente abrupte passant à d'autres plateaux sous-marins plus profonds.

Nous rappellerons qu'au point de vue biologique, le plateau continental correspond à la zone néritique (de 0 à — 200 m.) caractérisée par la pénétration de la lumière (permettant en particulier l'assimilation chlorophyllienne), une température variable, une certaine agitation des eaux, des apports détritiques venant du continent.

La plate-forme continentale est une immense prairie d'Algues jusqu'à une cinquantaine de mètres. Par endroits, les Algues calcaires forment une croûte, le *trottoir*, fréquenté par une association d'animaux fournissant un faciès comparable à celui des bancs de Coraux des mers chaudes.

Les prairies d'Algues, les *herbiers*, sont paturées par des Gastéropodes herbivores comme les Cérithes, les Nérites ou les Hydrobies, qui sont à leur tour la proie des Gastéropodes carnivores comme les Buccins, les Tritons, les Natices et les Strombes. C'est aussi la zone des Oursins qui creusent des cavités dans les rochers et s'y tapissent, des Brachiopodes fixés, des Lamellibranches, des Seiches et des Pieuvres, d'une quantité de Poissons attirés par la richesse du plankton.

Dans les mers chaudes, dans les eaux pures, les Polypiers construisent des « récifs coralliens » : récifs frangeants près des côtes, récifs-barrières un peu plus au large, îles coralliennes ou atolls.

C'est cette marge continentale qui possède le maximum de vie, le plus grand nombre d'espèces vivantes.

Nature des fonds. — Les dépôts sédimentaires actuels du plateau continental dépendent beaucoup de la nature de la côte, de son altitude et de son climat. J. Tercier a distingué :

(a) des *plates-formes paraliques* (Golfe du Mexique par exemple) avec apports terrigènes importants, épais, liés à des dépôts saumâtres et continentaux de la plaine maritime.

(b) des *plates-formes épicontinentales* (Floride et Bahamas) à sédimentation franchement marine, avec apports continentaux peu épais.

(c) des *plates-formes marginales* très étroites (Pacifique américain) où la sédimentation détritique la plus grossière peut être entraînée jusque dans les grands fonds.

Sur un plateau continental large et relativement plan, les dépôts d'origine détritique ne se font pas du tout par ordre de grosseur à partir de la côte. Les observations montrent au contraire une grande variété dans les dépôts et leur localisation.

Beaucoup de matériaux dragués montrent une origine subaérienne : galets de rivière, sables éoliens, tourbes, os de Mammifères, etc...

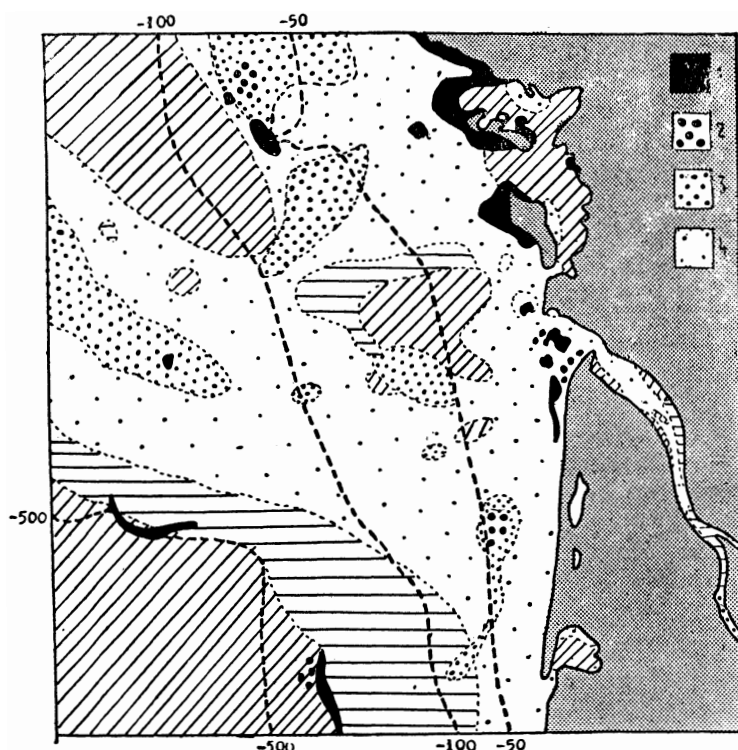


Figure 2. — Les dépôts du plateau continental d'une partie du Golfe de Gascogne. (1) Fond rocheux, (2) Galets, (3) Gravier, (4) Sable. En hachures horizontales, le sable vaseux; en hachures obliques, la vase. D'après Glangeaud.

Topographie. Vallées sous-marines. Origine. — L'étude topographique du plateau continental apporte des révé-

lations. Les Services américains (*Geological Survey et Coast and Geodetic Survey*) ont réussi à établir des cartes topographiques du plateau continental aussi détaillées que des cartes terrestres.

Sur la côte atlantique des Etats-Unis, A.C. Veatch, le grand animateur de ces campagnes, a établi une carte au 120.000^e, avec des courbes bathymétriques de 10 mètres sur le plateau et de 200 m. sur le talus. Le plateau s'étend sur 600 milles de longueur et 100 milles de largeur moyenne.

Le relief est d'aspect tout à fait continental et on ne peut manquer d'être frappé par des formes en creux qui sont exactement celles d'un réseau hydrographique très complet. Qui plus est, en bien des points, les vallées actuelles sont prolongées sur la plateau continental par des canyons sous-marins, qui ont été suivis jusqu'à plus de 1.000 mètres de profondeur.

Il en existe de nombreux sur les côtes des Etats-Unis, tant atlantiques que pacifiques. On en connaît au Japon, aux Indes (canyon de l'Indus), sur la côte occidentale d'Afrique (canyon du Congo), au large du Portugal (sillons de Nazaré et du Tage) et des côtes de France (gouf de Cap Breton), en Méditerranée occidentale (nombreuses vallées sous-marines du Roussillon et de tout le golfe du Lion).

Shepard qui a consacré des années à l'exploration de ces vallées sous-marines est arrivé à une conclusion, émise déjà par Suess et Hull et acceptée par la plupart des auteurs actuels : les *canyons sous-marins* sont l'œuvre d'une *érosion fluviale subaérienne en période de régression*. Donc la totalité du plateau continental représente une ancienne zone émergée du Quaternaire. Le fait de draguer des débris végétaux et des dents de Mammouths dans la Manche et la Mer du Nord nous avait familiarisés depuis longtemps avec cette idée tant qu'il ne s'agissait que de profondeurs de l'ordre de 100 à 200 mètres. Maintenant, il faut envisager des déplacements verticaux de l'ordre de 1.000 mètres et examiner les hypothèses de J. Bourcart et de J. Novak qui supposent que les niveaux les plus profonds remontent au Tertiaire.

Ici, les renseignements géologiques obtenus par remontée d'échantillons sont précieux. Certains canyons, comme celui de Monterey, sont taillés en plein granit; d'autres sont creusés dans des sédiments tertiaires, parfois récents, pliocènes. Ces derniers sont donc nécessairement post-pliocènes. Leur fond, comme la surface du plateau continental, est recouvert de sédiments récents.

Pour Shepard, ces canyons furent creusés à une époque où les glaciers constituaient d'énormes inlandsis de

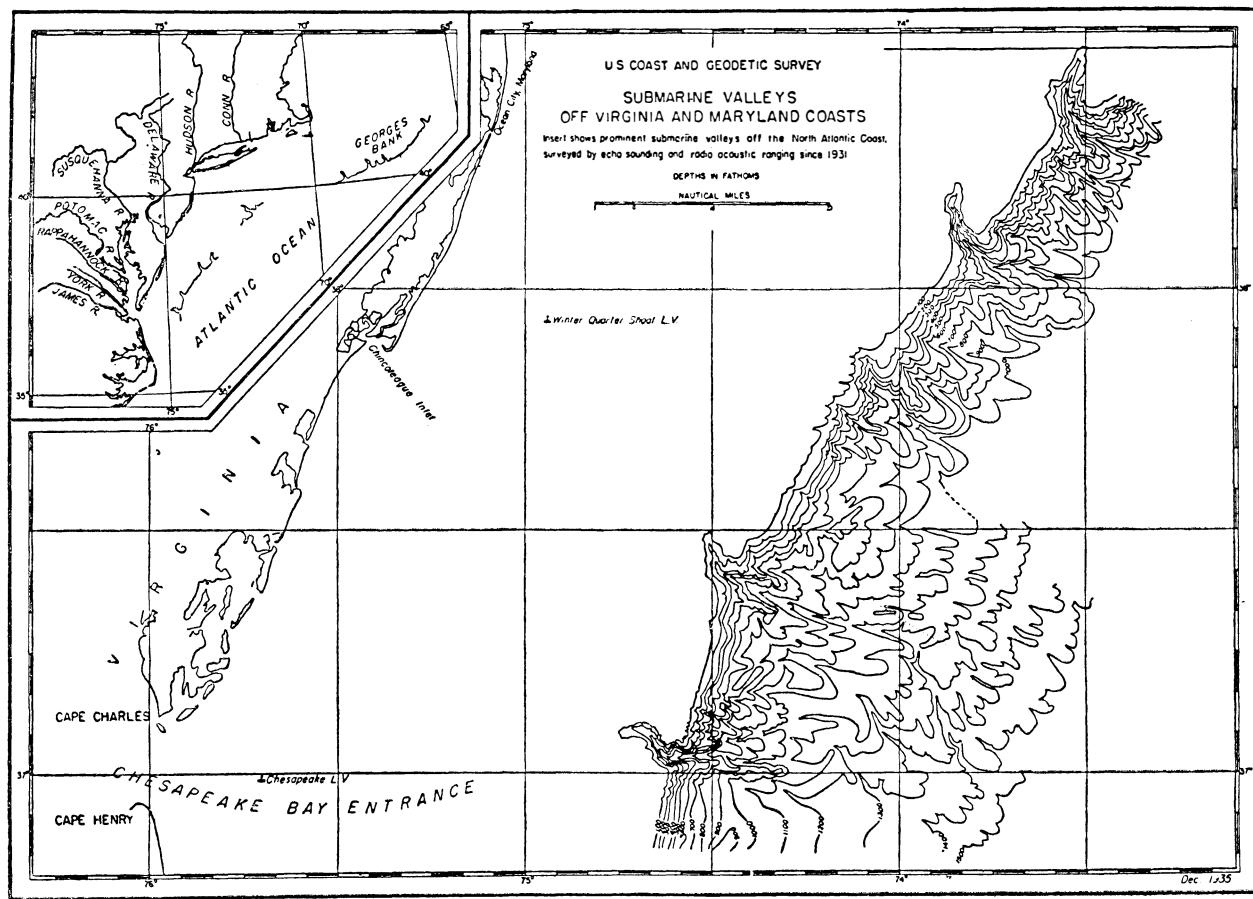


Figure 2. — Le plateau continental au large des côtes de Virginie et du Maryland (d'après Bullard)

plusieurs milliers de mètres d'épaisseur. *La régression marine quaternaire qui est généralement estimée à 200 mètres au maximum aurait été de l'ordre de 1.000 et 1.500 mètres.*

Cette conception semble appuyée par l'examen des reliefs sous-marins qui entourent les îles comme les Ha-waï ou l'île de Bogoslof (mer de Behring), mais elle ne peut être actuellement prouvée.

Importance économique du Plateau continental. — Le Plateau continental représente une zone exceptionnellement riche en ressources diverses.

On y trouve des hauts-fonds propices à la grande pêche, comme le Dogger Bank en Mer du Nord et les bancs de Terre-Neuve. En Alaska, des alluvions aurifères sont exploitées en mer jusqu'à 10 mètres de profondeur.

Sur la côte orientale de Sumatra, au large de l'île de Singkep, les prospecteurs ont pu suivre en mer des alluvions stannifères de plusieurs rivières. L'étain y est maintenant exploité jusqu'à 17 mètres de profondeur et à 1.300 mètres de la côte.

Les formations pétrolifères exploitées en bordure des continents continuent au large et rien n'empêche de poursuivre les sondages en mer. De telles opérations ont déjà été faites en Allemagne sur les côtes de la Mer du Nord, en U.R.S.S. sur la Caspienne et aux Etats-Unis sur les côtes atlantiques et pacifiques. Les sédiments du Plateau continental seraient susceptibles de contenir 1.000 milliards de barils de pétrole.

Aussi dès maintenant, les Etats-Unis et la République Argentine ont fait valoir leurs droits et affirmé leurs droits de propriété sur la plate-forme continentale, annexe du territoire national.

Les seuils et les crêtes.

Les bassins océaniques sont visiblement limités par des reliefs plus ou moins importants, des seuils ou des crêtes.

Océan Atlantique. La crête médiantlantique. — L'Océan Atlantique est divisé en deux zones (Est et Ouest) par une crête sous-marine, qui se poursuit sur plus de 15.000 kilomètres, de l'Islande à l'Océan austral. Il s'agit d'un haut relief, d'une véritable chaîne dominant de 3.000 mètres les fonds qui la bordent, avec des pentes de 10 à 30 %. Les profils au son tracés par le *Meteor* et par d'autres depuis, montrent une différence marquée entre ce relief tourmenté, accidenté, et la tranquillité des bassins voisins, à formes simples.

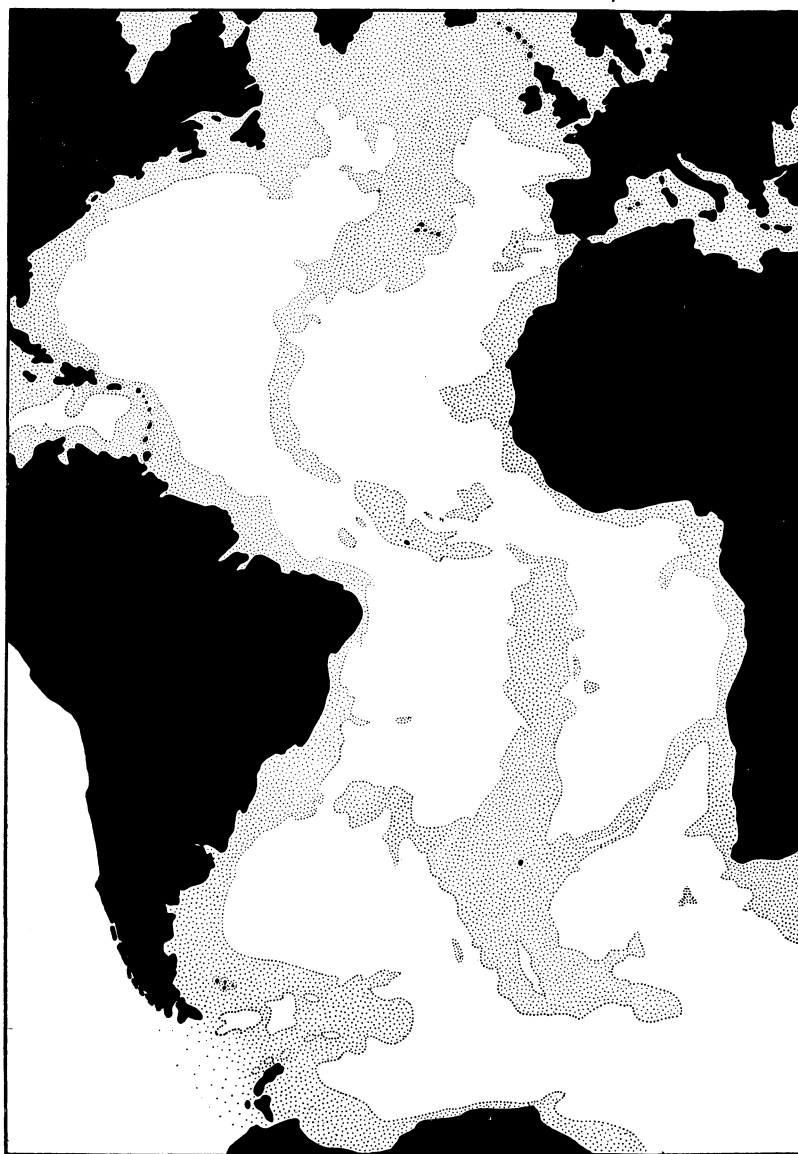


Figure 4. — La crête médiantlantique. En pointillé, les fonds d'une profondeur inférieure à 2.000 brasses.

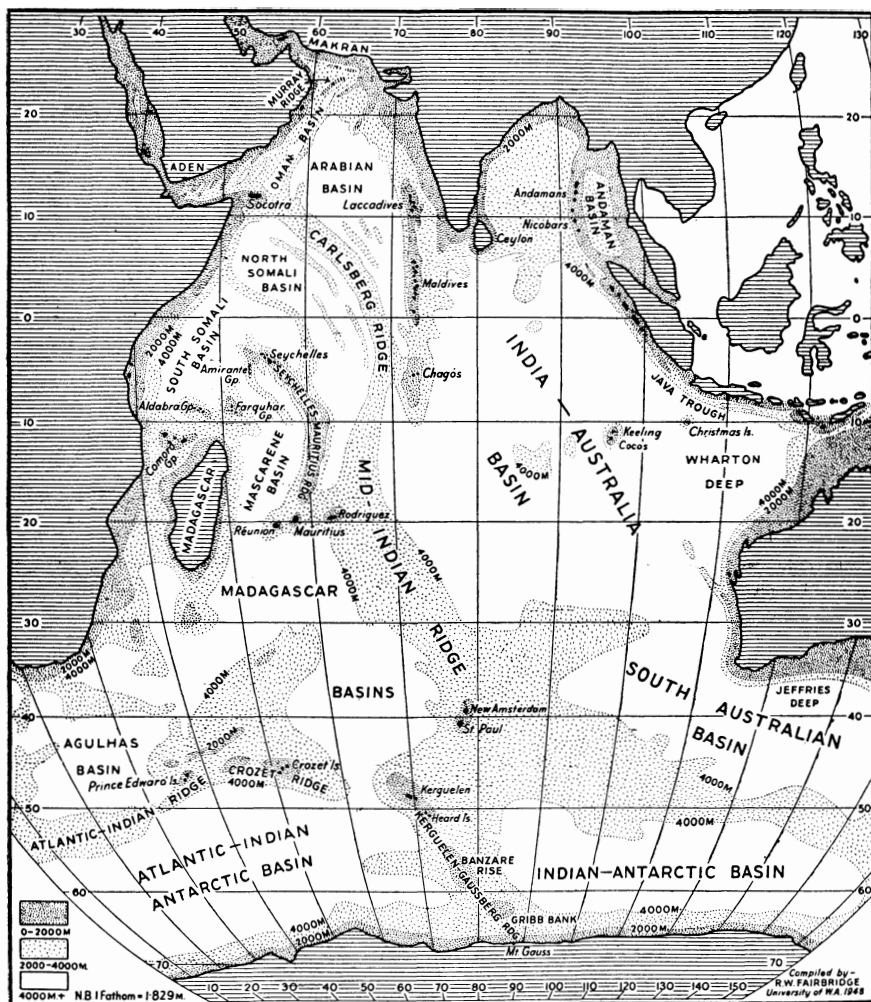


Figure 5. — Carte bathymétrique de l'Océan Indien basée sur les derniers sondages. D'après Fairbridge, 1948.

Au Sud du Plateau télégraphique qui est à moins de 1.000 mètres, la crête s'enfonce d'abord, puis remonte jusqu'à — 1.143 m. au Banc Faraday (49°41' lat. N; 29°10' long. W). Elle s'élargit ensuite pour englober le plateau des Açores. Elle se tient ensuite entre — 2.000 et — 3.000 jusqu'au 29° lat. N. Au Sud des Açores, le banc Colorado (21° lat. N; 27° long. W) ne se trouve qu'à — 772 mètres. Une flexure paraît bien exister vers l'Equateur, permettant la communication des eaux des deux bassins atlantiques, Est et Ouest : la fosse de la Romanche (7.370 m.).

Près de l'Equateur, au voisinage des rochers de Saint-Paul, on remonte à — 2.000 et — 1.500 m. Au delà, la crête médiantlantique s'oriente vers le Sud, jalonnée par de nombreux points de moins de 2.500 m. et portant même des îles : l'Ascension et Sainte-Hélène.

Encore plus au Sud, ce sont Tristan da Cunha, Gough et Bouvet. A la latitude de l'île Bouvet (vers 54° lat. S), la crête s'oriente vers l'Est et s'enfonce.

Les seuils. — Un certain nombre de seuils relie la crête médiantlantique à l'Amérique et à l'Afrique, isolant un certain nombre de bassins.

Au nord de Tristan da Cunha, une crête se détache vers le Nord-Ouest et présente des profondeurs de moins de 700 mètres, sur le Plateau de Bromley. Vers le Nord-Est, la crête Walfish va de Tristan da Cunha à la côte africaine.

Des hauts-fonds isolés relient l'île Bouvet au Cap de Bonne-Espérance. L'un d'eux est à — 565 m. (47°55' lat. S; 8° 55' long. E); un autre à — 1.827 m. (39° 30' S; 14° E) et le Banc du Discovery est à — 671 m. (0°; 42° S). La carte donne bien l'image de grands isthmes joignant l'Afrique et l'Amérique du Sud. La similitude, sur les deux bords de l'Atlantique de certaines faunes de Fourmis, de Lamel-libranchs, de Poissons, de Batraciens et de Reptiles contribue à donner l'idée de « ponts » immergés.

Constitution géologique de la crête médiantlantique. — Les recherches géophysiques basées sur l'étude des séismes et la densité des couches traversées par les ondes sismiques ont permis à P. Rothé d'assurer que le fond de l'Atlantique oriental est constitué par des roches légères, de type *Sial*, et non pas de roches denses de type *Sima*. Ces données rendent illusoire tout essai de raccordement direct du Brésil et des côtes de Guinée, dont les contours ont une certaine similitude et avaient attiré l'attention de Wegener.

D'autres documents, essentiels, sont dûs aux dragages. Nous disposons, en effet, d'échantillons de roches provenant de la crête médiantlantique.

Un des premiers renseignements paraît être celui de P. Termier, citant des échantillons ramenés de 3.100 mètres de profondeur à 500 milles au Nord des Açores. Un câble télégraphique ayant été réparé par 47° lat. N et 29° 40' long. W, en été 1898, les grappins remontèrent des fragments de roches. Il s'agit d'une roche vitreuse, une *tachylite*, comparable à certains verres basaltiques, qui n'aurait pu se consolider à cet état que sous la pression atmosphérique. Sous 3.000 mètres d'eau, elle aurait cristallisé. Il s'agit donc d'une roche volcanique qui s'est écoulée à l'air libre.

En 1949, j'ai moi-même publié des matériaux dragués en 1883, par le *Talisman*, par plus de 4.000 m. de profon-



Figure 6. — Photographie agrandie de l'un des fragments de schistes primaires avec empreinte de Trilobite dragués à 3.100 mètres de profondeur par le *Talisman* en 1883. La largeur maximum de l'empreinte est de 1 cm.

deur, à mi-chemin entre les Açores et le Portugal. Ce sont des schistes primaires contenant des fragments de Trilobites, accompagnés de galets de quartzites, de silexites et de calcaires, provenant d'une zone particulièrement accidentée. La couche de boues à Globigérines est évidemment

réduite, puisque la drague a pu ramener des galets et des fragments de schistes. A. Cailleux, qui a examiné les galets, considère qu'ils ont été peu roulés. Leur forme rappelle celle des galets de rivière.

Nous avons donc ici la preuve de l'existence d'un Atlantique primaire, qui émergea plus ou moins lors des mouvements hercyniens et fut à nouveau ennoyé au Crétacé. Notre Atlantique actuel est une « deuxième édition ».

D'autre part, nous ne pouvons que souligner une similitude des deux découvertes : une roche volcanique d'origine non sous-marine et des galets d'aspect sub-aérien.

Ceci n'est pas sans nous évoquer la submersion d'une chaîne autrefois émergée. La faible puissance du dépôt de boue à Globigérines pourrait même suggérer une submersion relativement récente, mais les roches ont pu être draguées sur des pentes rapides.

En 1948, M. Ewing donne des renseignements préliminaires sur les matériaux dragués par l'*Atlantis* en 1947. Au Nord-Est des Bermudes, une montagne sous-marine touchée à 1.500 m. de profondeur se dresse sur des fonds de 3.000 mètres. Un carottage de 3 mètres ramène des boues récentes sur de la craie à Foraminifères *éocènes*.

Des dragages, effectués vers le milieu de la crête et à mi-chemin entre New-York et Casablanca, ramènent des gabbros à olivine, des basaltes, des serpentines, des calcaires. Le relief évoque une région faillée, avec des falaises sous-marines et des pentes rapides.

En 1949, S.J. Shand publie une autre étude préliminaire sur des matériaux dragués par l'*Atlantis*. Nous en citerons des gabbros, des serpentines écrasées par 1.500 m. de fond (30° 6' lat. N ; 42° 8' long.) ; des basaltes altérés (3.000 m.) ; des serpentines et dolérites par 5.000 m. de profondeur, 30 et 34° de lat. N. Des galets de calcaire ont été recueillis. Il y a là tout un ensemble de roches qui rappelle une zone ayant subi des efforts tectoniques.

Les petites îles et rochers ont donné, à Gough Island : trachyte et phonolithe, à Tristan d'Acunha : *gneiss*, trachyte et phonolithe, à Sainte-Hélène : trachyte et phonolithe, à Ascension : granite, gabbro, péridotite, à Saint-Paul : dunite *mylonitisée* avec serpentine.

Toutes ces observations nous laissent à penser que l'histoire de l'Atlantique est encore plus étonnante qu'on ne le croyait et que ses derniers chapitres sont peut-être très récents.

Les îles coralliennes et les « guyots » du Pacifique.

Les atolls sont des récifs coralliens en forme d'anneau. Il en existe des milliers dans l'Océan Pacifique.

On sait que l'existence même des récifs coralliens est liée à des conditions connues de température (20° minimum), de profondeur (40 m.), de propreté et d'aération des eaux, de la richesse du plankton.

On a d'abord expliqué la forme annulaire des atolls en leur supposant un soubassement volcanique. Darwin, puis Dana, ont attiré l'attention sur ce fait que les récifs coralliens atteignent des épaisseurs très supérieures à 30 ou 40 mètres, ce qui suppose un affaissement lent de leur socle, compensé par la croissance des Coraux qui est de l'ordre de 3 mètres par siècle. Ce phénomène de subsidence généralisée provoqua des discussions qui aboutirent à un forage de 340 mètres dans l'atoll de Funafuti (Ellice Islands), en 1896-1898.

Plus récemment R.A. Daly a introduit une notion nouvelle : la destruction des récifs coralliens pendant les épisodes glaciaires du Quaternaire. D'une part, le niveau des Océans se serait abaissé d'une centaine de mètres et d'autre part les eaux du Pacifique auraient subi un abaissement de température de l'ordre de 5°. Tous les récifs coralliens n'ayant pas plus de cent mètres d'épaisseur se seraient formés depuis le début du Post-Glaciaire.

Par ailleurs, on sait également que des mouvements orogéniques et épirogéniques ont fait émerger des récifs coralliens jusqu'à 100 m. au-dessus du niveau de l'Océan dans les Iles Fidji et aux Nouvelles-Hébrides. Des terrasses de 2 à 8 mètres se voient un peu partout dans le Pacifique, impliquant un abaissement moyen du niveau des Océans. Toute l'histoire du Pacifique pendant les temps tertiaires est liée à une meilleure connaissance du soubassement des récifs coralliens, des atolls en particulier. Un certain nombre de sondages ont apporté des renseignements.

Funafuti. — En 1896-1898, un sondage de 340 mètres a donné, de haut en bas :

de 0 à 210 m. : calcaire poreux et friable, contenant des Coraux, des Algues calcaires, des Mollusques et des Foraminifères ;

de 210 à 250 m. : calcaire dolomitique blanc (40 % de carbonate de magnésie) ;

de 250 à 340 m. : calcaire dolomitique compact.

Tous les fossiles sont d'âge récent et indiquent des eaux peu profondes. Il y a donc eu subsidence.

Bikini. — Le trop célèbre atoll de Bikini (Iles Marshall) se trouve à 2.000 km. au Nord-Ouest de Funafuti. Des sondages y ont été faits en 1947. L'un d'eux a été poussé jusqu'à 852 mètres, recoupant, de haut en bas :

de 0 à 25 m. : calcaires coralliens actuels et subactuels ;

de 25 à 140 m. : calcaires coralliens, subfossiles en partie, postérieurs à une exondation, correspondant effectivement à la cote — 100, maximum de l'abaissement des eaux du Pacifique au Quaternaire glaciaire;

de 140 à 240 m. : calcaires tendres et poreux;

de 240 à 380 m. : calcaires pliocènes;

de 380 à 600 m. : sables à Foraminifères du Miocène supérieur;

de 600 à 852 m. : sables calcaires à Foraminifères du Miocène inférieur. De plus, les observations géophysiques indiquent une épaisseur de 2.000 mètres de calcaires reposant sur un fond de roches éruptives.

Kita-Daito-Zima (Japon). — Cet îlot se trouve au Sud du Japon, à l'Est d'Okinawa. En 1936, un forage a atteint 432 mètres. Il a montré :

de 0 à 103 m. : calcaire dolomitique, dur, caverneux, avec Coraux, Algues calcaires et Foraminifères (Pléistocène et Pliocène);

de 103 à 116 m. : banc calcaire de teinte gris-bleu (Aquitanién);

de 116 à 209 m. : calcaire granuleux (Aquitanién);

de 209 à 295 m. : sable calcaire (Aquitanién);

de 295 à 432 m. : calcaire sableux fossilifère (Oligocène sup.). La zone inférieure est lithologiquement comparable à celle de Bikini, mais ici l'Aquitanién se trouve de 103 à 295 mètres, alors qu'il se situe entre 700 et 850 m. à Bikini.

Marathea (Nord-Est de Bornéo). — Kuenen a publié un forage de 429 mètres :

de 0 à 189 m. : calcaire et sable coralliens;

de 189 à 260 m. : calcaire corallien détritique et lits argileux;

de 260 à 429 m. : alternance de calcaires coralliens et de calcaires azoïques, tendres.

Grande-Barrière (Australie orientale). — A Michaelmas Cay, un sondage a traversé 125 m. de calcaire corallien avant d'arriver dans une zone de sables à Foraminifères. A Heron Island (700 milles plus au Sud), la sonde a traversé 168 m. de calcaire corallien.

Nous pouvons tirer un enseignement de ces forages : (1) l'Océan Pacifique s'est abaissé de 100 mètres environ pendant le Glaciaire quaternaire; c'est un chiffre comparable à celui de l'Océan Atlantique, (2) la présence de niveaux miocènes et pliocènes, surmontés de plus de 200 m. de Coraux quaternaires montre un mouvement de subsidence du fond, qui est de l'ordre de 800 mètres depuis le Miocène inférieur.

Il nous reste à dire quelques mots de formes sous-marines très particulières, auxquelles les Américains ont donné le nom de *guyots* (1).

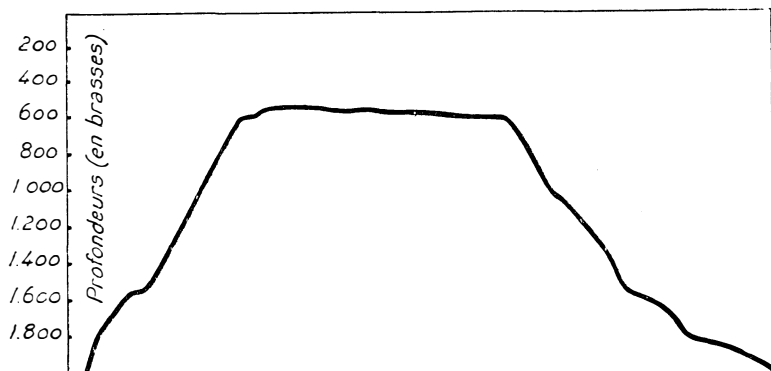


Figure 7. — Profil d'un guyot (165° 55' W et 14° 20' N). Les profondeurs sont en brasses.

Ce sont des plateaux sous-marins, des îles plates limitées par des talus. On en a trouvé de nombreux entre les Iles Hawaï et les Mariannes aussi bien que dans le Nord, vers l'Alaska.

Beaucoup se situent à une profondeur voisine de 1.200 à 1.500 mètres. Shepard les considère comme des éléments de reliefs d'origine subaérienne et compare leur profondeur actuelle à celle des canyons sous-marins.

Guyots et canyons impliquent une régression marine considérable, actuellement impossible à dater ou bien, selon les vues de H. Hess, une élévation considérable du niveau de l'Océan Pacifique provoquée par le remplissage partiel du bassin par des apports terrigènes, volcaniques et biogènes. Dans cette dernière hypothèse, les guyots les plus profonds représenteraient des îles volcaniques arasées par l'érosion, pouvant dater du Précambrien.

Certains de ces guyots atteignent des tailles importantes : 50 kilomètres sur 12 par exemple.

La théorie de H. Hess s'ajoute à celle concernant les atolls : phénomènes de subsidence du fond océanique doublé d'une élévation du niveau marin.

Les dépôts des grands fonds.

Les dépôts actuels. — En 1891, Murray et Renard, après avoir étudié les matériaux de la campagne du « Chal-

(1) Du nom du géographe du XIX^e siècle Arnold Guyot.

lenger », ont donné une classification des dépôts marins. Les dépôts des grands fonds comportent : des boues à Globigérines, des boues à Ptéropodes, des boues à Diatomées, des boues à Radiolaires et l' « argile rouge ».

J. Bourcart et Cl. Francis-Bœuf ont différencié les *boues des vases* : les *vases* (anglais *muds*) sont des sédiments fins en cours d'évolution; les *boues* (anglais *oozes*) sont des sédiments fins où la phase active est négligeable par rapport à une grande masse inerte formée de minéraux et de squelettes de microorganismes.

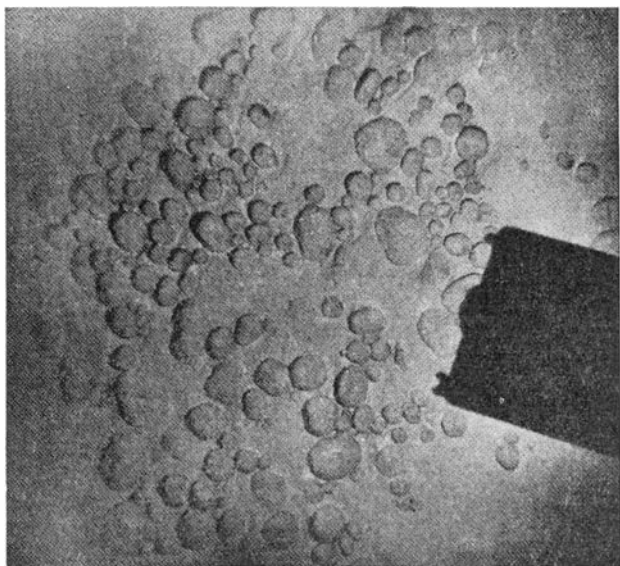


Figure 8. — L'Aspect du fond de l'Atlantique à 5.600 mètres de profondeur révélé par la caméra sous-marine. Les objets ronds sont probablement des éponges. Cliché des expéditions de l'*Atlantis*.

Tous ces sédiments des grands fonds ne se déposent qu'avec une extrême lenteur; tous sont radioactifs.

Les dépôts anciens. — Grâce à la pratique récente des *carottages sous-marins*, nous sommes en possession, au laboratoire, des sédiments qui se sont déposés antérieurement aux boues actuelles.

Ces sédiments apportent deux sortes de témoignages :

(1) on y retrouve la trace des périodes glaciaires du Quaternaire;

(2) on les retrouve parfois à des profondeurs qui diffèrent certainement de celles de leur dépôt.

Traces des périodes glaciaires. — Dans l'Atlantique Nord, des sondages Piggot exécutés en 1936, entre Terre-Neuve et l'Angleterre, ont montré quatre séries de sédiments, glaciaires et interglaciaires, définis d'après les Foraminifères.

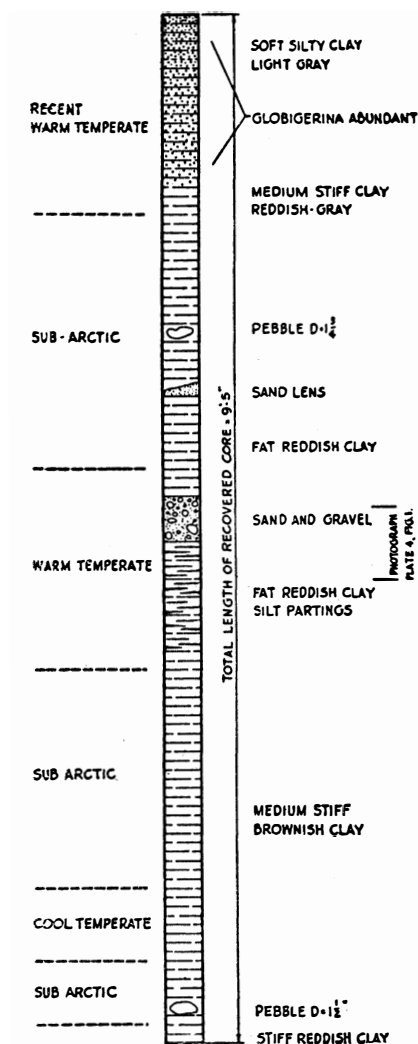


Figure 9. — Schéma d'une carotte prélevée à 2.250 brasses, par 40° 41' N et 64° 55' W. D'après Hvorslev et Stetson, 1946.

Le *Meteor* a fait des observations du même ordre dans l'Atlantique Sud : 25 centimètres de boues à *Globorotalia*

Menardii, espèce relativement chaude, reposant sur d'autres boues contenant *Globorotalia bulloides* et *Globorotalia inflata*, impliquant des eaux tempérées, bien moins chaudes que les eaux actuelles.

Des documents encore plus récents apportent encore plus de précisions. Un carottage de 2 m. 86 a été réussi par 4.129 m. de fond par 40° 41' lat. N et 64° 55' long. W, au Sud-Est du Banc Georges. D'après les Foraminifères, F.B. Phleger et W.A. Hamilton ont défini une succession de zones climatiques :

Actuel, tempéré chaud	de	0 à 35 cm.
Sub-arctique	de	35 à 128 cm.
Tempéré chaud (plus frais qu'actuel)		128 à 165 cm.
Sub-arctique		165 à 245 cm.
Tempéré froid		245 à 260 cm.
Sub-arctique		260 à 286 cm.

Les 35 centimètres du sommet comprennent vers leur milieu une zone un peu plus chaude correspondant peut-être à l'optimum climatique bien connu, daté du v^{me} millénaire avant notre ère.

Ces 3 mètres de sédiments représentent une durée de l'ordre de 300.000 ans, c'est-à-dire la dernière partie du Quaternaire.

Ces successions de faunes chaudes et froides de l'Atlantique Nord et Sud sont du plus haut intérêt, par elles-mêmes, puisqu'elles *démontrent* la réalité des épisodes glaciaires et l'universalité de la variation des climats quaternaires.

Nous augmenterons si possible leur intérêt en ajoutant que les mêmes observations ont été faites dans l'Océan Indien, par l'expédition du *John Murray*, dont les matériaux ont été étudiés par H.G. Stubbings.

Six carottes de sondages ont été recueillies entre Zanzibar et l'archipel des Maldives. Les mêmes Foraminifères s'y retrouvent : *Globorotalia Menardii* plus abondants dans les niveaux chauds et *Globigerina bulloides* dans les niveaux tempérés.

Une carotte de 1 m. 32, provenant d'un fond de 4.060 mètres, au Sud de la Somalie, montre 3 niveaux froids à 22 cm., 87 cm. et 130 cm.

Mieux encore, une carotte de 15 m. 40 a été remontée de la mer des Caraïbes. F.B. Phleger Jr. y a reconnu onze niveaux à Foraminifères « froids ». Il apparaît vraisemblable que l'on a ici la totalité ou presque du Quaternaire. L'épaisseur même des sédiments (15 mètres) évoque une durée de dépôt de l'ordre de 1 million à 1 million et demi d'années, ce qui correspond parfaitement aux évaluations

chronologiques effectuées d'après les données astronomiques.

Variation du niveau des fonds. — Nous avons dit que certaines roches draguées sur la crête méditerranéenne évoquaient une origine sub-aérienne. Il faudrait admettre une submersion globale importante.

Cette idée de subsidence des fonds trouve un renfort dans d'autres observations.

Un carottage de 46 centimètres a été réussi, par 7.230 mètres de fond, au voisinage de la fosse de la Manche, sur l'Equateur, par 18° long. W. On y voit de haut en bas :

argile rouge	13 cm.
argile brune, avec banc sableux	12 cm.
argile grise, sans sable	7 cm.
argile	11 cm.
boue à Globigérines (CO ² Ca : 47,2 %) ..	2 cm.

Philippi fait remarquer que cette singulière carotte montre : à la base une boue à Globigérines qui correspond habituellement à des fonds de 2.000 à 4.000 mètres et non pas de plus de 7.000 ; une zone moyenne, dont les sables à plagioclases, quartz, magnétite et augite proviennent de la destruction d'un granite à hypersthène et évoquent un dépôt de plateau continental ; une zone supérieure dont les boues rouges rappellent normalement celles des grands fonds. Au total, ces 46 centimètres de dépôts évoquent un fond de 3.000 m. où se dépose une boue à Globigérines ; un mouvement de surrection et un dépôt subaérien de sables granitiques ; un grand mouvement de subsidence, jusqu'à 7.000 m. avec dépôt récent de boues rouges. Si la vitesse de sédimentation est à peu près normale, 13 centimètres de boues rouges ont pu se déposer en 25.000 ans au maximum (chiffres de Schott pour cette zone : 0,5 à 0 cm. 83 en 1.000 ans).

Ajoutons que le *Gauss* avait déjà dragué des sables « continentaux » sur la crête occidentale du seuil de Wal-fish (entre 2.500 et 3.000 m.). C'étaient des sables à quartz (dont 1 grain de 3 mm.), biotite, plagioclases, muscovite, grenats et hornblende. La composition même de ces sables est totalement différente de celle des argiles glaciaires draguées autour de l'Antarctique. Ces sables sont autochtones et s'ils rappellent quelque chose, ce sont les sables du fossé de la Manche.

**

Un demi-siècle de recherches basées sur des techniques diverses ne nous a pas encore donné beaucoup de résultats propres à la construction de nouvelles cartes très

spectaculaires. Par contre, nous sommes en possession de résultats locaux d'un intérêt primordial et qui prouvent la qualité des *méthodes*.

Ce que nous avons exposé permet d'entrevoir de très rapides progrès dans un avenir immédiat :

la pratique des *sondages aux ultra-sons* donne le profil des parcours de tous les bateaux pourvus d'un appareil. Les cartes bathymétriques vont présenter un aspect très amélioré, donner des précisions sur les formes du relief sous-marin ;

les *dragages*, exécutés en des lieux choisis, rapportent des matériaux géologiques, non seulement précieux par eux-mêmes, mais étranges, dont l'étude mettra en œuvre toutes les techniques de la pétrographie sédimentaire afin de préciser leur genèse et leur évolution ;

l'étude du *plateau continental* a donné dès maintenant des résultats remarquables (topographie, canyons sous-marins, origine continentale sub-aérienne du relief, etc.). Le plateau est assez connu pour poser des problèmes économiques et politiques ;

les forages dans les *îles coralliennes* ont montré une grande épaisseur de formations marines de faible profondeur. L'histoire du Pacifique occidental peut être reconstituée sur 25 millions d'années ;

les sondages des *grands fonds avec tubes-carottiers* ont démontré la réalité des oscillations thermiques du Quaternaire dans le monde entier ; ils vont permettre de préciser les subdivisions stratigraphiques de ce Quaternaire complet, reposant sur des sédiments tertiaires ;

les méthodes *géophysiques* apportent une contribution importante en donnant des indications sur la densité et l'épaisseur des roches qui se trouvent en dehors de la portée de nos investigations, sur l'évolution tectonique contemporaine.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

I. — GENERALITES ET METHODES

- ANDREE K. (1920). — *Geologie des Meeresbodens*. Leipzig. 1 vol.
 BOURCART J. (1949). — *Géographie du fond des mers*. Paris 1 vol.
 CAILLEUX A. (1945). — Distinction des galets marins et fluviaux. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (15), vol. 15, pp. 375-404; (1946) Granulométrie des formations à galets. *C. R. Session extr. Soc. Géol. Belgique*, pp. 91-114.
 DANGEARD L. (1928). — Observations de géologie sous-marine et d'océanographie relative à la Manche. *Ann. Inst. Océanogr.*, vol. 16, fasc. 1.
 DRAVEIL F. (1941). — *Les Ultra-sons*. Paris. 1 vol.
 EWING G.-P., WOOLLARD G.-P., VINE A.-C., WORZEL J.-L. (1946). — Recent results in submarine geophysics. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 57, pp. 909-934.
 FRANCIS-BŒUF C. (1942). — *Les océans*. Paris. 1 vol.
 FURON R. (1941). — *La Paléogéographie*. Paris. 1 vol.
 HVORSLEY M.-J., STETSON H.-C. (1946). — Free-falling coring tube : a new type of gravity bottom sampler. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 57, pp. 935-950.
 MURRAY J., RENARD A.-F. (1895). — Report on deep sea deposits. *Challenger Reports*, 1895.
 PETTERSON H. (1949). — Exploring the bed of the Ocean. *Nature*, vol. 164, pp. 468-470.
 ROTHE E. (1943). — *Questions actuelles de Géophysique*. Paris. 1 vol.
 ROTHE J.-P. (1946). — *Séismes et volcans*. Paris. 1 vol.
 ROUCH J. (1944-48). — *Océanographie physique*. Paris. 3 vol.
 SHEPARD F.-P. (1948). — *Submarine geology*. New-York. 1 vol.
 THOULET J.-C. (1904). — *L'océanographie, ses lois, ses problèmes*. Paris. 1 vol.
 VALLAUX C. (1933). — *Géographie générale des mers*. Paris. 1 vol.
 VENING-MEINESZ F.-A. (1931). — Gravity anomalies in the East Indian Archipelago. *Geogr. Journ.*, 1931, avril.

II. — PLATEFORME CONTINENTALE

- BOURCART J. (1938). — La marge continentale. *Bull. Soc. Géol. France* (5) vol. 8, pp. 393-474; (1949). *Géographie du fond des mers*. Chapitre 4.
 CHEVALLIER A. (1914). — Etude bathylithologique des côtes de la Méditerranée, d'Antibes à Menton. *Ann. Ins. Océanogr.*, vol. 7, fasc. 1.
 DELESSE (1871). — *Lithologie des mers de France et des mers principales du globe*. Paris. 1 vol.

- FURON R. (1947). — Géologie et droit international. Le problème de la plateforme continentale. *Rev. gen. Sci.*, vol. 54, pp. 176-178.
- GLANGEAUD L. (1938). — Transport et sédimentation à l'embouchure de la Gironde. *Bull. Soc. géol. France*, pp. 539-630; (1939). Origine et mode de formation des sédiments détritiques. *Sciences*, 1939, n° 30, pp. 329-339.
- NOVAK V.-J. (1937). — On the origin of the continental shelf. *Vestník Kral. Ceske-Spol. Nauk.*, 1937.
- SHEPARD F.-P. (1932). — Sediments of the continental shelves. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 43, pp. 1017-1040; (1948) Submarine geology. Chapitres 6, 7 et 9.
- SMITH P.-A. (1939). — Atlantic submarine valleys of the United States. *Geogr. Rev.*, 1939, p. 648.
- Société de Biogéographie* (1940). — Contributions à l'étude de la répartition actuelle et passée des organismes dans la zone néritique. *Mem. Soc. Biogéogr.*, vol. 7, 434 pages, 21 mémoires.
- THOULET J. (1899). — Carte lithologique sous-marine des côtes de France. Paris; (1912). Etude bathylithologique des côtes du Golfe du Lion. *Ann. Ins. Océanogr.*, vol. 6, fasc. 6.
- VEATCH A.-C. (1937). — Recent advances in marine surveying. *Geogr. Rev.*, 1937, p. 625.
- VEATCH A.-C., SMITH P.-A. (1939). — Atlantic submarine valleys of the United States and the Congo submarine valley. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, n° 7.

III. — OCEAN ATLANTIQUE

- BOURCART J. (1949). — Géographie du fond des mers. Chapitre 5.
- EWING M. (1948). — Exploring the mid-atlantic ridge. *Nat. Geogr. Mag.*, 1948, pp. 275-294.
- FURON R. (1949). — Sur des Trilobites dragués à 4.255 m. de profondeur par le « Talisman » (1883). *C. R. Acad. Sci.*, vol. 228, pp. 1509-1510.
- LE DANOIS E. (1938). — L'Atlantique. Paris. 1 vol.
- METEOR. — Die deutsche Atlantische Expedition auf *Meteor*, von A. Defant. Berlin, à partir de 1932.
- ROTHER J.-P. (1947). — Hypothèse sur la formation de l'Océan Atlantique. *C. R. Acad. Sci.*, vol. 224, pp. 1295-1297; (1946) Séismes et volcans. Paris.
- SCHOTT G. (1942). — *Geographie des Atlantischen Ozeans*. Hambourg, 3^e édition.
- SHAND S.-J. (1949). — Rocks of the mid-atlantic Ridge. *J. Geol.*, vol. 57, pp. 89-92.
- TERMIER P. (1912). — L'Atlantide. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, n° 256.

IV. — ILES CORALLIENNES ET GUYOTS DU PACIFIQUE

- DALY R.-A. (1934). — The changing world of the Ice age. New Haven. 1 vol.
- DARWIN C. (1837). — On certain areas of elevation and subsidence in the Pacific and Indian Oceans as deduced from the study of coral formations. *Proc. Geol. Soc. London*, vol. 2, pp. 552-554; (1842). The structure and distribution of coral reefs. London. 1 vol.
- DOBRIH M.-B. et al. (1946). — Seismic refraction survey of Bikini Atoll. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 57, p. 1189.

- EMERY K.-O. (1946). — Submarine geology of Bikini Atoll. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 57, p. 1191.
- HANZAWA S. (1940). — Micropalaeontological studies of drill cores from a deep well in Kita-Daito-Zima (N. Borodino Isl.). *Jubilee. Publ. Prof. Yab's 60 th Birthday*, 1940, vol. 2, pp. 755-802.
- HESS H.-H. (1946). — Drowned ancient Islands of the Pacific basin. *Amer. J. Sc.* vol. 244, pp. 772-791.
- HINDE G.-J. (1904). — Report on Funafuti Atoll boring. In Sollas. *Rep. Coral Reef Comm. Roy. Soc.*, 1904, sect. II. pp. 186-360.
- KUENEN P.-H. (1933). — Geology of coral reefs. *Snellius Esped.*, vol. 5, part 2.; (1947). Two problems of marine geology : atolls and canyons. *Verh. K. Ned. Akad. Wet.*, vol. 43, n° 3, pp. 1-37.
- LADD H.-S., TRACEY J.-I. (1948). — Drilling on Bikini Atoll, Marshall Islands. *Science*, vol. 107, pp. 51-55.
- MURRAY H.-W. (1941). — Submarine mountains in the Gulf of Alaska. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 52, pp. 333-362.
- RICHARDS H.-C., HILL D. (1942). — Great Barrier Reef bores. *Rep. Great Barrier Reef Com.*, vol. 5, pp. 1-122.
- SHEPARD F.-P. (1948). — *Submarine geology*. Chapitre 10.

V. — LES DEPOTS DES GRANDS FONDS

- COLLET L.-W. (1908). — *Les dépôts marins*. Paris. 1 vol.
- MURRAY J., RENARD A.-F. (1895). — Report on deeps sea deposits. *Challenger Reports*.
- PHLEGER F.-B. Jr. (1939). — Foraminifera of submarine cores from the continental slope. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 50, pp. 1395-1422 et Ibidem, 1942, vol. 53, pp. 1073-1098; (1948). Foraminifera of a submarine core from the Caribbean Sea. *Medd. Oceanogr. Inst. Göteborg*, n° 16, pp. 1-9.
- PHLEGER F.-B. Jr., HAMILTON W.-A. (1946). — Foraminifera of two submarine cores from the North Atlantic basin. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 57, pp. 951-966.
- STUBBINGS H.-G. (1939). — Stratification of biological remains in marine deposits. *John Murray Exped.*, 1933-34, *Scientific Reports*, vol. 3, n° 3.